PCT WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales Büro

INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation [7]: G01B 11/16	A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: **WO 00/16037**
		(43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 23. März 2000 (23.03.00)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP99/06656

(22) Internationales Anmeldedatum: 9. September 1999 (09.09.99)

(30) Prioritätsdaten:
198 41 365.3 10. September 1998 (10.09.98) DE

(71)(72) Anmelder und Erfinder: RICKLEFS, Ubbo [DE/DE]; Dianaburgstrasse 12, D–35753 Greifenstein (DE). STRÖBEL, Bernhard [DE/DE]; Birkenweg 17d, D–64295 Darmstadt (DE). GRAF, Stefan [DE/DE]; Am Strauch 18, D–35418 Busek–Beuern (DE).

(74) Anwalt: FLECK, Hermann–Josef; Klingengasse 2, D–71665 Vaihingen (DE).

(81) Bestimmungsstaaten: JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).

Veröffentlicht
Mit internationalem Recherchenbericht.
Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist; Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.

EXPRESS MAIL NO. EL688022945US

MAILED 12 March 2001

(54) Title: MEASURING METHOD FOR RECORDING AND EVALUATING PHOTOGRAMS OF MOVING SURFACES

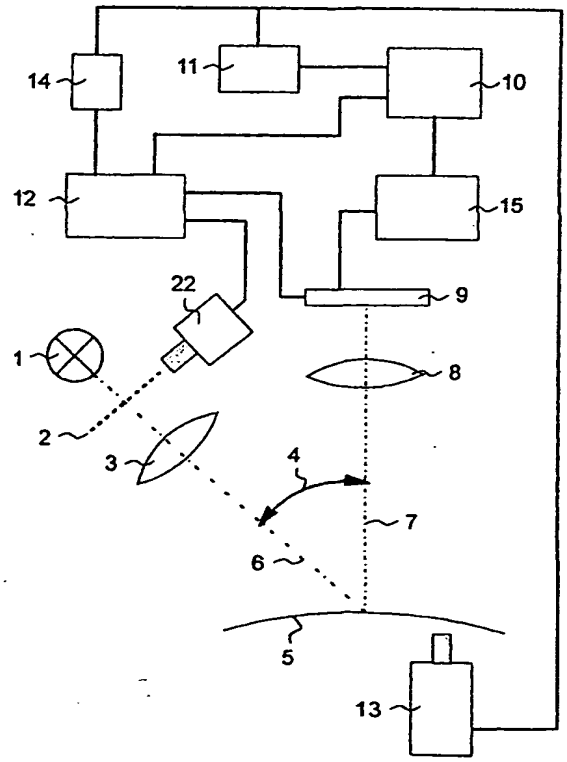
(54) Bezeichnung: MESSVERFAHREN ZUR AUFNAHME UND AUSWERTUNG VON STREIFENBILDERN BEWEGTER OBERFLÄCHEN

(57) Abstract

The invention relates to a measuring method for recording and evaluating photograms of moving surfaces similar to how they are obtained using interferometic methods or photogram projection. The temporally changing photograms can be evaluated using a point–by–point determination of amplitude such that individual recordings for producing image sequences are carried out in a manner which is synchronous to the surface movement and/or temporally average recordings of the surface movement are carried out for different excitation parameters. In addition, a deformation of the surface or a temporal change of the deformation is determined from the position of the strips in the image sequences.

(57) Zusammenfassung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Messverfahren zur Aufnahme und Auswertung von Streifenbildern bewegter Oberflächen, wie sie mit Verfahren der Interferometrie oder Streifenprojektion erhalten werden. Eine Auswertung der sich zeitlich ändernden Streifenbilder mit einer punktweisen Amplitudenbestimmung wird dadurch geboten, dass Einzelaufnahmen zum Erstellen von Bildfolgen synchron zur Oberflächenbewegung ausgeführt werden und/oder zeitlich gemittelte Aufnahmen der Oberflächenbewegung für unterschiedliche Anregungsparameter ausgeführt werden und dass aus der Lage der Streifen in den Bildfolgen auf eine Verformung der Oberfläche oder eine zeitliche Änderung der Verformung geschlossen wird.



Messverfahren zur Aufnahme und Auswertung von Streifenbildern bewegter Oberflächen

Die Erfindung bezieht sich auf ein Messverfahren zur Aufnahme und Auswertung von Streifenbildern bewegter Oberflächen, wie sie mit Verfahren der Interferometrie oder Streifenprojektion erhalten werden und wobei die Bewegung einen translatorischen und/oder einen rotatorischen Verschiebungsanteil und/oder einen Verformungsanteil besitzt.

BESTÄTIGUNGSKOPIE

Messverfahren der "Holographischen Interferometrie", "Electronic Speckle Pattern Interferometrie (ESPI)" und "Streifenprojektion" werden vielfach eingesetzt, um Verformungen von Oberflächen nachzuweisen. Die Verformungen sind hierbei in der Regel aus der Anzahl und Form der (Interferenz-)Streifen im Bild erkennbar. Die Lage dieser Streifen verschiebt sich mit der Änderung der Verformungen. Bei zeitlich sich ändernden Oberflächenformen verlagern sich die Streifen mit der entsprechenden Geschwindigkeit. Erstellt man unter diesen Voraussetzungen mit einer Kamera eine Aufnahme, so erhält man ein Bild, das über die Belichtungszeit integriert und dabei gemittelt wird.

Für den Fall harmonischer Schwingungen führt diese Mittelung bei Integrationszeiten von einer vollen Schwingungsperiode oder einem Vielfachen hiervon zu einer amplitudenabhängigen Reduktion des Streifen- bzw. Interferenzkontrastes entsprechend einer Bessel-Funktion nullter Ordnung. Es sind verschiedene Verfahren bekannt, um diese amplitudenabhängig-oszillierende Kontrastreduktion zu vermessen und bildhaft darzustellen. Dadurch ist es zwar möglich, zumindest bei einfachen Moden einen anschaulichen Eindruck von den Schwingungsformen der Oberfläche zu bekommen und insbesondere die Lage der Knotenlinien zu erkennen, eine exakte punktweise Vermessung der Schwingungsamplitude ist jedoch aufgrund des oszillierenden Charakters der Besselfunktion nicht möglich.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Messverfahren zu entwickeln, das eine quantitative Auswertung der sich zeitlich ändernden Streifenbilder mit dem Ziel der punktweisen Amplitudenbestimmung gestattet. Hierzu wurden zwei Varianten entwickelt, die im Anspruch 1 angegeben sind.

Im ersten Verfahren wird eine spezielle stroboskopische Aufnahmetechnik eingesetzt, die sich insbesondere für schwingende Objekte eignet. Während einer Schwingung muß die Belichtungszeit ausreichend kurz gehalten werden, um eine signifikante Verlagerung der Streifenbilder in dieser Zeitspanne zu unterbinden. Stroboskopische Verfahren, die auf einer Synchronisation der Beleuchtung basieren, sind an sich seit langem bekannt. Hierzu werden z.B. gepulste Lichtquellen oder Lichtquellen mit vorgeschalteten optischen Komponenten verwendet, deren Transmissionsgrad zeitlich variiert wird. Viele dieser Verfahren haben aber preisliche und/oder technische Nachteile. Verwendet man z.B. gepulste Laser, so muß die Strahlungsleistung ausreichend hoch sein, um eine ausreichende Belichtung zu garantieren. Diese Systeme sind meist teuer und aufgrund der Laserschutzbestimmungen nur bedingt einsetzbar. Der übliche Einsatz von Chopperrädern hat mehrere Nachteile, von denen nur der Platzbedarf und die Notwendigkeit einer mechanischen Entkopplung der Chopperbewegung von der Objektschwingung genannt seien.

Auf dem Markt sind etliche Kameras erhältlich, die so kurze Belichtungszeiten gestatten, dass die Oberflächenbewegung während der Belichtungszeit vernachlässigbar ist. Wenn man keine sehr hohen Strahlungsleistungen verwenden kann, sind diese Belichtungszeiten aber nicht ausreichend, um ein kontrastreiches Bild zu erhalten. Man müßte deshalb nach der Belichtung das Bild in einen Bildspeicher auslesen, anschließend weitere Aufnahmen jeweils im selben Schwingungszustand aufnehmen und so viele dieser Bilder im Speicher aufsummieren, bis ein ausreichender Kontrast vorhanden ist. Da das Auslesen der Bilder aber unzulässig lange dauern würde, ist dieses Verfahren in der Praxis nicht durchführbar.

Um das Auslesen der Teilbilder zu vermeiden, wird bei dem erfindungsgemäßen Verfahren nach Anspruch 4 eine Kamera mit einem speziellen Aufnahmechip verwendet. Dieser Baustein läßt es zu, dass das zur Auslesung der Bildinformation gedachte Schieberegister des Aufnahmesensors als Zwischenspeicher der Bildinformation verwendet werden kann. Die Bildinformation, die in der nicht interessierenden Zeitspanne empfangen wird, kann - durch entsprechende elektronische Beschaltung - in diesem Baustein unberücksichtigt bleiben. Im nächsten interessierenden Zeitraum wird wieder eine Kurzzeitaufnahme ausgeführt und anschließend der vorangehenden Aufnahme im Schieberegister überlagert. Sind ausreichend viele Kurzzeitaufnahmen überlagert worden, so wird in nur einem Auslesezyklus das kontrastreiche Bild ausgelesen. Damit kann ein zeitaufwendiges Auslesen und Aufsummieren der Einzelbilder in einem getrennten Speicher entfallen.

Im zweiten Messverfahren wird die Bildaufnahme mit Hilfe des elektronischen Verschlusses der Kamera über eine oder mehrere volle Schwingungsperioden durchgeführt. Mit Hilfe des bekannten Phasenschiebeverfahrens ist es dann möglich, für jeden Bildpunkt die Interferenz-Amplitude und -Phase (für die im Anspruch 2 genannten interferometrischen Verfahren) bzw. die Streifen-Amplitude und -Phase (für die im Anspruch 2 genannten weiteren Verfahren) sowohl in Ruhe als auch im Mittel über eine volle Schwingung zu bestimmen. Für den Fall harmonischer Schwingungen ergibt die Mittelung mit wachsender Schwingungsamplitude eine Abnahme der Interferenz-Amplitude gemäß einer Besselfunktion nullter Ordnung bei unveränderter Interferenzphase im positiven und bei Phasenumkehr im negativen Wertebereich der Besselfunktion. Ändert man die Amplitude der Anregung in bekannten Schritten, so kommt es unter der gerechtfertigten Annahme eines linearen Antwortverhaltens an jedem Bildpunkt zu

einer entsprechenden schrittweisen Änderung der lokalen Schwingungsamplitude und damit zu einer Änderung der gemessenen zeitlich gemittelten Interferenz-Amplituden und -Phasen gemäß der oben beschriebenen Besselfunktion. Durch Anpassung des Parameters der Besselfunktion an die gemessenen Amplituden- und Phasenwerte kann diejenige Funktion bestimmt werden, die die Abfolge der Meßpunkte am besten beschreibt. Der so bestimmte Parameter ist ein Maß für die relative Anregung der Oberfläche an dieser Stelle.

Setzt sich die Oberflächenbewegung aus einem Verformungsanteil und einem überlagerten translatorischen und/oder rotatorischen Verschiebungsanteil zusammen, so kann der Verformungsanteil z.B. durch gleichzeitige oder aufeinanderfolgende Vergleichsmessungen oder aufgrund des Verhaltens bei verschiedenen Anregungsmustern ermittelt werden.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von in den Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer ersten Meßanordnung,

Fig. 2a, 2b1 bis 2b3
verschiedene Darstellungen zu einem Bildaufnahmesensor und seiner Wirkungsweise,

Fig. 3 eine schematische Darstellung einer weiteren Meßanordnung,

Fig. 4a, 4b
zeitliche Verläufe zur Anregung der Oberfläche und Erzeugung von Summenbildern und

Fig. 5 eine Darstellung der gemessenen Phasenverschiebung in Abhängigkeit der Anregungsfrequenz.

Fig. 1 zeigt einen typischen Aufbau für das Streifenprojektionsverfahren gemäß den Ansprüchen. Eine Lichtquelle 1 beleuchtet ein Gitter 2, das über ein abbildendes Element 3 auf eine Objektoberfläche 5 abgebildet wird. Das Streifenbild auf der Oberfläche 5 wird durch ein abbildendes System 8 auf einem Aufnahmesensor 9 in Form eines Kamerachips abgebildet. Eine optische Achse 6 der Beleuchtungseinrichtung ist um einen Winkel 4 gegen eine optische Achse 7 einer Aufnahmegruppe geneigt. Von einer zentralen Steuereinheit 10 wird ein Frequenzgenerator 11 eingestellt.

Zu Beginn einer aus Einzelbildern gemittelten Aufnahme gemäß den Ansprüchen 3 bis 7 initialisiert die zentrale Steuereinheit 10 eine Ansteuerelektronik 12, die die benötigten Takt- und Steuersignale für den Aufnahmesensor 9 bereitstellt. Anschließend wird der Frequenzgenerator 11 gestartet. Über das Ausgangssignal des Frequenzgenerators 11 wird ein Aktuator 13 betrieben, der die Oberfläche 5 mit der eingestellten Frequenz anregt. Synchron zur Anregung wird über die Ansteuerelektronik 12 die Bildaufnahme derart gesteuert, dass die eigentliche Bildinformation jeweils nur in einem sehr kleinen Zeitfenster gewonnen wird. Um die Schwingung in verschiedenen Phasenzuständen zwischen Objektanregung und Bildaufnahme festhalten zu können, ist ein zusätzlicher

Phasensteller 14 vorgesehen. Das im Aufnahmesensor 9 aufsummierte Bild wird anschließend in einen externen Bildspeicher 15 ausgelesen und ausgewertet.

Zur einfacheren und sichereren Bestimmung der Lage und der Verschiebung der Streifen im Bild werden vielfach mehrere Aufnahmen vom gleichen Verformungszustand aufgenommen und zwischen diesen Aufnahmen die Lage des Gitters 2 um einen festen Bruchteil der Gitterkonstanten verschoben (Phasenschiebeverfahren gemäß Anspruch 4). Hierzu dient die zusätzliche Stelleinheit 22, die ebenfalls über die Ansteuerelektronik 12 angesteuert wird.

Werden die von dem Gitter 2 projizierten Streifen nicht direkt sondern durch Überlagerung mit den Streifen eines weiteren ähnlichen Gitters aufgenommen, so liegt ein Moiré-Streifenprojektionsverfahren vor, wie es beispielsweise in Anspruch 2 angegeben ist.

Fig. 2 zeigt eine Ausführung für den Aufnahmesensor 9 gemäß Anspruch 4. In Sensorelementen 16 für die Bildaufnahme - den sogenannten Pixeln - wird während einer kurzen Zeitspanne die Bildaufnahme durchgeführt (Fig. 2b 1), indem Ladungsträger 17 gesammelt werden. Anschließend wird das so erzeugte Ladungspaket 17 in ein Schieberegister 18 übertragen, indem der Potentialwall zwischen Pixel und Schieberegister durch das Anlegen einer entsprechenden Steuerspannung an eine Steuerelektrode 19 (über die Ansteuerelektronik 12) abgesenkt wird (Fig. 2b 2). Dann wird das Potential an der Steuerelektrode 19 wieder zurückgesetzt und das Potential an der zweiten Steuerelektrode 20 für die nächste Zeitperiode abgesenkt. Dadurch fließt die im Pixel generierte Ladung während dieser Zeitspanne über das Überlaufregister 21 ab (Fig. 2b 3). Für die

nächste Teilaufnahme wird die Steuerelektrode 20 wieder zurückgesetzt, so dass der Zustand wieder Fig. 2b 1 entspricht.

Fig. 3 zeigt einen modifizierten Aufbau, wie er für das sogenannte ESPI-Verfahren gemäß den Ansprüchen genutzt werden kann. Als Lichtquelle wird hier ein Laser 25 eingesetzt. Über einen teildurchlässigen Spiegel 26, einen Spiegel 27 und eine Aufweitungsoptik 28 wird der Laserstrahl so aufgeweitet, dass die Objektoberfläche 5 ausgeleuchtet wird. Strukturelemente der Oberfläche 5 reflektieren einen Teil dieser Strahlung. Ein Teil hiervon wird über das abbildende System 8 in Form eines Objektivs auf den Aufnahmesensor 9 abgebildet. Durch die Blende des abbildenden Systems 8 entstehen auf dem Aufnahmesensor 9 die sogenannten Speckle. Der zweite an dem teildurchlässigen Spiegel 26 erzeugte Teilstrahl wird über eine Phasenstelleinheit 29, einen weiteren Spiegel 30, eine Abbildungseinheit 31 und einen teilreflektierenden Spiegel 32 in das abbildende System 8 abgebildet und so dem Specklebild des ersten Teilstrahls überlagert. Die beiden Teilstrahlen erzeugen bei Einhaltung ungefähr gleicher optischer Weglängen 26 - 27 - 28 - 5 - 32 für den ersten Teilstrahl und 26 - 29 - 30 - 31 - 32 für den zweiten Teilstrahl ein Interferenzbild auf dem Aufnahmesensor 9, bei dem die in jedem Sensorelement 16 gemessene Intensität durch die jeweilige Phasendifferenz zwischen den beiden Teilstrahlen bestimmt ist.

Wird über den Aktuator 13 die Lage oder Form der Oberfläche verändert, so ändert sich damit die Phasendifferenz entsprechend. Die gemittelten Aufnahmen werden - wie in Fig. 2 erläutert - durch Summierung der Ladungspakete 17 im Schieberegister 18 des Aufnahmesensors 9 synchron zur Bewegung der Oberfläche 5 erzeugt. Durch die optische Phasenstelleinheit 29 kann zwischen diesen gemittelten Aufnahmen die Phase eines Teilstrahls um einen festen Bruch-

teil der Wellenlänge variiert werden. Der Speckle-Kontrast ändert sich entsprechend. Dieses Verfahren entspricht der Verschiebung des Gitters 2 über die zusätzliche Stelleinheit 22 im ersten Beispiel. Die Analyse der Bilder erfolgt deshalb entsprechend.

Fig. 4a und 4b zeigen ein Beispiel, wie es in Anspruch 3 angegeben ist. Fig. 4a zeigt den zeitlichen Verlauf der Anregung der Oberfläche 5 durch den Aktuator 13. Eingezeichnet sind die fest gewählten Phasenlagen 35 bis 38, zu denen die jeweiligen Summenbilder aufgenommen werden. Das erste Summenbild wird in der Phasenlage 35 aufgenommen, das zweite in der Phasenlage 36 usw. In einem beliebigen Punkt führt die Oberfläche die gleiche Bewegung, aber mit unterschiedlicher Amplitude und Phasenverschiebung aus. Die Phasenverschiebung 39 und Amplitude 40 (Fig. 4b) kann aus den vier Summenbildern für jeden Bildpunkt berechnet werden.

Fig. 5 zeigt ein Beispiel, wie es in Anspruch 6 genannt ist. Die Oberfläche 5 wird bei fester Anregungsamplitude über den Aktuator 13 (Fig. 1, 3) untersucht und die Phasenverschiebung 39 (Fig. 4) für jeden Punkt der Oberfläche bestimmt. Mit Änderung der Anregungsfrequenz ändert sich die gemessene Phasenverschiebung 39. Aus der Analyse dieses Verlaufs kann man auf die Resonanzfrequenz schließen.

Anordnungen gemäß Fig. 1 und 3 entsprechen ebenfalls den Ansprüchen 7 und 8. Für die Bildaufnahme könnte allerdings auch eine konventionelle Kamera verwendet werden, die dem speziellen, in Fig. 2 erläuterten Auslese- und Zwischenspeicherungs-Verfahren nicht genügt. Filmgebundene Kameras wären auch denkbar, für eine schnelle Auswertung aber wenig sinnvoll. Der Unter-

schied zu dem oben beschriebenen Verfahren besteht darin, dass die Belichtung über einen längeren Zeitraum durchgeführt wird, so dass sich die Oberfläche in dieser Zeitspanne um einen deutlichen Betrag verlagert. Wählt man z.B. die Speckle-Anordnung nach Fig. 3 und für die Belichtungszeit genau die Zeitdauer einer Periode der Oberflächenanregung, so wird von der Kamera eine gemittelte Speckle-Interferenz-Amplitude detektiert. Mit zunehmender Schwingungsamplitude der Oberfläche nimmt diese Interferenz-Amplitude ab. Diese Abnahme als Funktion der Amplitude läßt sich mit einer Besselfunktion nullter Ordnung beschreiben. In der Regel sind die Auslenkungen an einigen Punkten bereits bekannt (Befestigungspunkte mit Auslenkung null, Anregungspunkte mit der eingeleiteten Anregungsamplitude). Aus dem Vergleich der gemessenen Interferenz-Amplitude über die Oberfläche mit der Besselfunktion läßt sich die jeweilige Auslenkung bestimmen.

Einfacher ist die Auswertung, wenn nacheinander für mehrere Anregungsamplituden für jeden Oberflächenpunkt die Interferenz-Amplitude bestimmt wird. Betrachtet man die Interferenz-Amplitude in einem Oberflächenpunkt in Abhängigkeit von der Anregungshöhe, so kann man den Verlauf der Besselfunktion direkt ablesen.

Ansprüche

1. Messverfahren zur Aufnahme und Auswertung von Streifenbildern bewegter Oberflächen, wie sie mit Verfahren der Interferometrie oder Streifenprojektion erhalten werden und wobei die Bewegung einen translatorischen und/oder einen rotatorischen Verschiebungsanteil und/oder einen Verformungsanteil besitzt,
dadurch gekennzeichnet,
dass Einzelaufnahmen zum Erstellen von Bildfolgen synchron zur Oberflächenbewegung ausgeführt werden und/oder zeitlich gemittelte Aufnahmen der Oberflächenbewegung für unterschiedliche Anregungsparameter ausgeführt werden und
dass aus der Lage der Streifen in den Bildfolgen auf eine Bewegung der Oberfläche oder eine zeitliche Änderung der Bewegung geschlossen wird.

2. Messverfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Streifen nach einem elektronischen Speckle-Muster-Interferometrie-Verfahren, nach einem holographisch interferometrischen Verfahren, nach einem Streifen-Projektionsverfahren oder nach einem Moiré-Verfahren erzeugt werden.

3. Messverfahren nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Bewegung synchronisationstauglich und durch Anregungsparameter beschreibbar ist.

4. Messverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Oberfläche mit einer festen Frequenz zum Schwingen oder einer sonstigen periodischen Bewegung angeregt wird und
dass die Einzelaufnahmen mit einer elektronischen Kamera in fester Phasenlage bezüglich der Anregung der Schwingung und mit derart kurzen Belichtungszeiten aufgenommen werden, dass sich in der Belichtungszeit die Lage der Streifen nahezu nicht ändert und die Einzelaufnahmen in einem Bildaufnahmebaustein der Kamera zu einem Summenbild aufsummiert werden.

5. Messverfahren nach Anspruch 4,
dadurch gekennzeichnet,
dass mehrere der Summenbilder mit verschiedener Phasenlage der interferierenden Wellen oder der aufprojizierten Streifen (Phasenschiebe-Verfahren) aufgenommen werden,
dass diese Bilder jeweils für Oberflächenbewegungen mit mindestens zwei unterschiedlichen Amplituden aufgenommen werden,
dass die Summenbilder miteinander verrechnet werden, und
dass die Änderung der Interferenz-Amplitude und/oder -Phase oder der Streifen-Amplitude oder -Phase aufgrund der Bewegungsänderung für je-

den Oberflächenpunkt errechnet und hieraus auf die Bewegungsänderung bei Änderung der Anregungsamplituden geschlossen wird.

6. Messverfahren nach Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet,
dass mehrere Summenbilder mit unterschiedlicher Phasenlage des Aufnahmezeitpunktes bezüglich der Anregung erzeugt werden und
dass aus der Analyse der Summenbilder als Funktion der Phasenlage und Anregung ein Zusammenhang zwischen Anregung, Phasenlage und Schwingungsamplitude abgeleitet wird.

7. Messverfahren nach Anspruch 4, 5 oder 6,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Anregungsfrequenz variiert wird und
dass aus der Analyse des Schwingungsverhaltens als Funktion der Phase und Frequenz auf die Schwingungsformen der Oberfläche geschlossen wird (Modalanalyse).

8. Messverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Oberfläche zum Schwingen oder zu einer sonstigen periodischen Bewegung angeregt wird,
dass mehrere Bilder mit verschiedener Phasenlage der interferierenden Wellen oder der aufprojizierten Streifen (Phasenschiebe-Verfahren) aufgenommen werden,
dass die Bilder während der Zeitdauer einer Periode der Bewegung oder einem Vielfachen hiervon aufgenommen werden,

dass die Bilder bei mindestens zwei Anregungsamplituden der Oberfläche aufgenommen werden und
dass die Bilder so miteinander verrechnet werden; dass für jeden Punkt der Oberfläche die Änderung der Interferenz-Amplitude bzw. der Streifen-Amplitude bestimmt werden kann und dass hieraus auf die Änderung der Bewegungsamplitude geschlossen werden kann.

9. Messverfahren nach Anspruch 8,
dadurch gekennzeichnet,
dass die in Anspruch 8 beschriebene Messung mehrfach mit verschiedenen Anregungsamplituden durchgeführt wird und
dass bei gegebener Anregungsamplitude aus dem Verlauf der Interferenz-Amplitude bzw. der Streifen-Amplitude als Funktion der Anregungsamplitude in jedem Oberflächenpunkt auf die Bewegungsamplitude geschlossen werden kann.

10. Messverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass aus den erfaßten Bewegungsdaten der Anteil der Verformung bestimmt wird.